

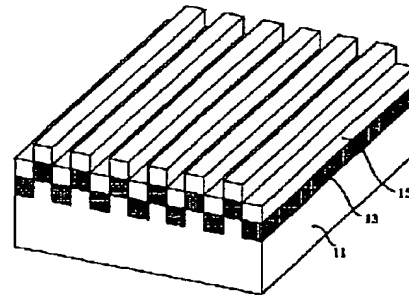
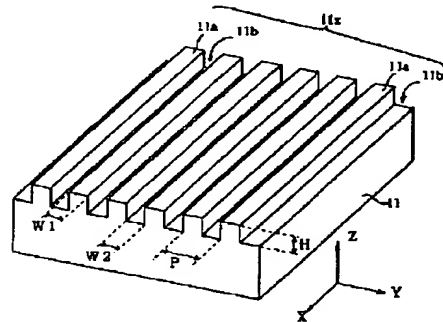
(19) JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **09304611 A**(43) Date of publication of application: **28.11.97**(51) Int. Cl **G02B 5/18**(21) Application number: **08115097**(22) Date of filing: **09.05.96**(71) Applicant: **OKI ELECTRIC IND CO LTD
GIJUTSU KENKYU KUMIAI
SHINJOHO SHIYORI KAIHATSU
KIKO**(72) Inventor: **TAKAMORI TAKESHI
WADA HIROSHI
KAMIJO TAKESHI****(54) PRODUCTION OF REFRACTIVE INDEX
MULTI-DIMENSIONAL PERIODIC STRUCTURE****(57) Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To easily produce a desired refractive index multidimensional periodic structure even when a compound semiconductor material is used by preparing a base which has a periodically uneven structure on the top surface and laminating specific thin films such as two kinds of thin films, which differ in refractive index, on the top surface of the base alternately with a film thickness that is equal or substantially equal to the step of the unevenness.

SOLUTION: The surface of a GaAs substrate 11 is machined so that ridge-shaped projection parts 11a are formed on the top surface of the GaAs substrate 11 in parallel at a period P along the width (Y direction). Here, the respective values of the width W1 of projection parts 11a, the width W2 of recessed parts 11b, and the step H of the unevenness can optionally be set corresponding to what kind of refractive index periodic structure is formed. On the GaAs substrate 11 which has the uneven structure on the top surface, an AlAs thin film 13 as a 1st thin film and a GaAs thin film 15 as a 2nd thin film are laminated alternately so that their film thickness become equal or substantially equal to the step H of the unevenness.



COPYRIGHT: (C)1997,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 9 - 3 0 4 6 1 1

(43) 公開日 平成 9 年 (1997) 11 月 28 日

(51) Int. Cl. °

G02B 5/18

識別記号

庁内整理番号

F I

G02B 5/18

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平 8 - 1 1 5 0 9 7

(22) 出願日 平成 8 年 (1996) 5 月 9 日

(71) 出願人 0 0 0 0 0 0 2 9 5

沖電気工業株式会社

東京都港区虎ノ門 1 丁目 7 番 1 2 号

(71) 出願人 5 9 3 1 6 2 4 5 3

技術研究組合新情報処理開発機構

東京都千代田区東神田 2 - 5 - 1 2 龍角

散ビル 8 階

(72) 発明者 高森 毅

東京都港区虎ノ門 1 丁目 7 番 1 2 号 沖電

気工業株式会社内

(74) 代理人 弁理士 大垣 孝

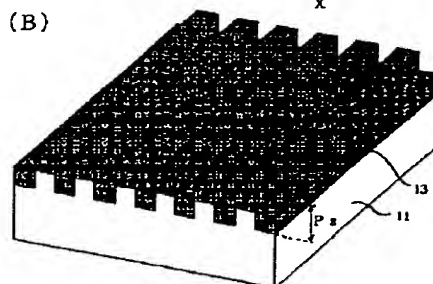
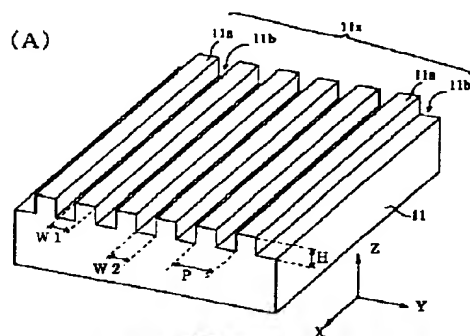
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 屈折率多次元周期構造の作製方法

(57) 【要約】

【課題】 化合物半導体材料で構成され所望の厚さを有した屈折率多次元周期構造を簡易に作製できる方法を提供する。

【解決手段】 周期的な凹凸構造 11x を表面に有した GaAs 基板 11 を用意する。この基板 11 の表面上に、屈折率が異なる 2 種類の薄膜として AlAs 薄膜 13 および GaAs 薄膜を、交互にかつそれぞれの膜厚が前記凹凸における段差 H と等しいか実質的に等しい膜厚となるように積層する。



11:一次元周期構造を有した下地 (GaAs 基板)

11a:凸部 (リッジ状の凸部)

11b:凹部 11c:周期構造 (一次元周期構造)

13:第 1 の薄膜 (AlAs 薄膜)

図 1 の発明の形態の説明図 (その 1)

1

2

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 周期的な凹凸構造を表面に有した下地を用意し、

該下地の前記表面上に、屈折率が異なる 2 種類の薄膜を、交互にかつそれぞれの膜厚が前記凹凸における段差と等しいか実質的に等しい膜厚となるように積層することを特徴とする屈折率多次元周期構造の作製方法。

【請求項 2】 周期的な凹凸構造を表面に有した下地を用意し、

該下地の前記表面上に、後処理により少なくとも一方の屈折率に変化するような 2 種類の薄膜を、交互にかつそれぞれの膜厚が前記凹凸における段差と等しいか実質的に等しい膜厚となるように積層し、

該積層の済んだ試料に対し当該後処理を行なうことを特徴とする屈折率多次元周期構造の作製方法。

【請求項 3】 周期的な凹凸構造が表面に形成されている下地を用意し、

該下地の前記表面上に、後に行なう酸化処理によって酸化される第 1 の薄膜と該第 1 の薄膜に比べ酸化の程度が少ないか実質的に酸化されない第 2 の薄膜とを、交互にかつそれぞれの膜厚が前記凹凸における段差と等しいか実質的に等しい膜厚となるように積層し、

該積層の済んだ試料に対し当該酸化処理を行なうことを特徴とする屈折率多次元周期構造の作製方法。

【請求項 4】 請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の屈折率多次元周期構造の作製方法において、

前記下地として、前記周期的な凹凸構造が下地表面に平行な一方向に沿って繰り返されている下地を用い屈折率二次元周期構造を作製することを特徴とする屈折率多次元周期構造の作製方法。

【請求項 5】 請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の屈折率多次元周期構造の作製方法において、

前記下地として、前記周期的な凹凸構造が下地表面に平行な二方向それぞれに沿って繰り返されている下地を用い屈折率三次元周期構造を作製することを特徴とする屈折率多次元周期構造の作製方法（ただし、前記二方向とは、互いが 180° 反対向きである場合を除く。）。

【請求項 6】 周期的な凹凸構造が表面に形成されている下地であって該凹凸構造が該下地表面に平行な一方向に沿って繰り返されている下地を用意し、

該下地の前記表面上に、後に行なうエッチング方法によってエッチングされる第 1 の薄膜と該エッチング方法によってはエッチングされないか実質的にエッチングされない第 2 の薄膜とを、交互にかつそれぞれの膜厚が前記凹凸における段差と等しいか実質的に等しい膜厚となるように積層し、

該積層の済んだ試料に対し当該エッチングを行なうことを特徴とする屈折率多次元周期構造の作製方法。

【請求項 7】 請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の屈折率多次元周期構造の作製方法において、

前記凹凸構造の凹凸が繰り返される方向における凹部の幅、凸部の幅、該凹凸における段差の各寸法を制御することにより、屈折率多次元周期構造における各次元の周期を制御することを特徴とする屈折率多次元周期構造の作製方法。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】 この発明は、半導体光デバイスの作製等への適用が期待できる、屈折率多次元周期構造の作製方法に関するものである。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】 屈折率の異なる 2 つの領域が交互にかつある周期をもつて然も少なくとも二次元方向それぞれに生じている構造は、屈折率多次元周期構造といえる。この構造は、例えば量子効率 100% の半導体レーザ等、有用な光素子を実現する可能性を持つと考えられている（例えば文献 I : 「応用物理」第 63 巻、第 6 号、pp.604-

6079(1994)）。屈折率多次元周期構造のうち、屈折率二次元周期構造を作製するための従来方法として、例えば

文献 II (Applied Physics Letters vol.64, pp.687-689 (1994)) に開示の方法がある。これは円形開口部を周期的に有したレジストパターンを半導体基板表面上に形成し、次に、反応性イオンエッチング技術等のエッチング手段により該基板の前記レジストで覆われていない部分をエッチングして、該基板の所定部分ごとに円柱形穴を形成するという方法である。この方法で得られた構造では、円柱形穴の部分が空気（低屈折率部分）、その他の部分が基板のまま（高屈折率部分）であるので、両者により屈折率二次元周期構造が構成される。また、屈折率三次元周期構造を作製するための従来方法として、例えば文献 III (Physical Review Letters vol.67, pp.2295-2298(1993)) に開示の方法がある。これは誘電体基板の表面から該基板に円柱形穴をドリル手段によりしかも 3 方向にそれぞれ形成するという方法である。この方法で得られた構造では、円柱形穴の部分が空気（低屈折率部分）、その他の部分が基板のまま（高屈折率部分）であるので、両者により屈折率三次元周期構造が構成される。

【 0 0 0 3 】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、文献 II に開示の従来方法の場合は、ドライエッチングにより円柱形穴を形成するので深い穴を開けることが難しい。そのため、厚さが厚い屈折率二次元周期構造を作製するのが困難であるという問題点がある。

【 0 0 0 4 】 また、文献 III に開示の従来方法の場合であって、ドリル手段として同文献の Fig. 2 の説明文中にあるように反応性イオンエッチングを用いる場合は、文献 II の場合と同様に深い穴を開けることが難しいから、厚さが厚い屈折率三次元周期構造を作製するのが困難であるという問題点がある。さらに、3 方向の穴開

40

50

けのために 3 回の反応性イオンエッチングを実施する必要があるから、目的の屈折率三次元周期構造を作製する際の歩留りや再現性は極めて悪いものになると考えられる。さらに、文献 III に開示の従来方法の場合であって、ドリル手段として同文献の Fig. 2 の説明文中にあるように機械的なドリルを用いる場合は、誘電体基板として例えば化合物半導体基板のような機械的強度に乏しいものを用いることが出来ないという問題が生じる。

【 0 0 0 5 】 所望の厚さを有した屈折率多次元周期構造を簡易に作製でき、然も、光素子作製用の代表的な材料である化合物半導体材料を用いる場合も所望の屈折率多次元周期構造を簡易に作製できる方法の実現が望まれる。

【 0 0 0 6 】

【課題を解決するための手段】そこで、この発明の屈折率多次元周期構造の作製方法によれば、周期的な凹凸構造を表面に有した下地を用意し、該下地の前記表面上に、屈折率が異なる 2 種類の薄膜を、交互にかつそれぞれの膜厚が前記凹凸における段差と等しいか実質的に等しい膜厚（以下、「所定の膜厚」ともいう）となるように積層することを特徴とする。

【 0 0 0 7 】 この発明によれば、所定の下地表面上に、屈折率が異なる 2 種類の薄膜を交互に積層し、かつ、これら 2 種類の薄膜の膜厚を所定の膜厚としているので、下地面に垂直な方向では 2 種類の薄膜がほぼ同じ膜厚で交互に積層され、かつ、下地面に平行な方向に沿って 2 種類の薄膜が交互に出現する構造が形成される。ここで、下地表面の凹凸構造が下地面に平行な一方向に沿っている場合は、この方向に沿う屈折率周期構造と下地面に垂直な方向に沿う屈折率周期構造とから成る屈折率二次元周期構造が得られる。また、下地表面の凹凸構造が下地面に平行な二方向に沿っている場合は、この二方向に沿う屈折率周期構造と下地面に垂直な方向に沿う屈折率周期構造とから成る屈折率三次元周期構造が得られる。そして、下地面に垂直な方向における 2 種類の薄膜の周期は、下地表面に形成する凹凸構造における段差の寸法により制御出来、一方、下地面に平行な方向における 2 種類の薄膜の出現周期は、下地表面に形成する凹凸構造における凹部の幅および凸部の幅の一方または双方により制御出来るので、屈折率周期構造の制御も容易に行なうことが出来る。なお、屈折率周期構造における周期は該構造の使用目的に応じた任意の周期とできる。例えば文献 I に示されているフォトニックバンドギャップ構造を作製する場合であれば、扱う光の波長と同程度の寸法にこの発明でいう周期を設定する。この場合は、自然放出光を人為的に制御し得るような光デバイスの実現が期待出来る。

【 0 0 0 8 】 なお、この発明において、下地の構成材料および 2 種類の薄膜それぞれの構成材料は、屈折率多次元周期構造の用途に応じた任意のものとできる。典型的

には、少なくとも 2 種類の薄膜は化合物半導体材料とするのが良い。光素子の用途に適合するからである。また、2 種類の薄膜は例えば格子定数が近いもの同士とする等、結晶成長が良好になされる材料からなるものとするのが良い。品質の優れた屈折率多次元周期構造が得られるからである。下地も、2 種類の薄膜のいずれか一方の構成材料と同じ材料からなる下地とするか、異なる材料であっても薄膜の結晶成長が良好になされる材料からなる下地とするのが良い。その方が、下地上に形成される 2 種類の薄膜の品質が良好になるので、良好な屈折率多次元周期構造が得られるからである。また、下地を 2 種類の薄膜のうちの一方と同じ材料で構成された下地とし、この下地上に 2 種類の薄膜のうちの他方の薄膜から積層を開始すれば、下地表面の凸部分自体が屈折率周期構造の一部を構成するようになる。

【 0 0 0 9 】 また、この発明では、周期的な凹凸構造を表面に有した下地上に、後処理により少なくとも一方の屈折率が変化するような 2 種類の薄膜を、交互にかつそれぞれの膜厚が所定の膜厚となるように積層し、該積層の済んだ試料に対し当該後処理を行なうようにしても良い。この場合において、2 種類の薄膜は、最初から互いに屈折率が異なっていてかつ後処理により少なくとも一方の薄膜の屈折率がさらに変化するようなものでも良く、或は、2 種類の薄膜ともに最初は屈折率が同じであるが後処理の後に少なくとも一方の薄膜の屈折率が変化するようなものでも良い。後の実施の形態では、下地上に形成される 2 種類の薄膜が最初から互いに屈折率が異なっていてかつそのうちの一方の屈折率が後処理により（具体的には酸化処理により）さらに変化する例を示す。

【 0 0 1 0 】 また、この発明では、周期的な凹凸構造が表面に形成されている下地上に、後に行なうエッチング方法によってエッチングされる第 1 の薄膜と該エッチング方法によってはエッチングされないか実質的にエッチングされない第 2 の薄膜とを、交互にかつ所定の膜厚となるように積層し、該積層の済んだ試料に対し当該後エッチングを行なうようにしても良い。

【 0 0 1 1 】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照してこの発明の屈折率多次元周期構造の作製方法の実施の形態について説明する。しかしながら、説明に用いる各図はこの発明を理解出来る程度に概略的に示してあるにすぎない。また、各図において同様の構成成分については同一の番号を付して示し、その重複する説明を省略することもある。また、詳細は後述するが各図では、GaAs 薄膜と AlAs 薄膜とを区分けするために、AlAs 薄膜そのものあるいは、それに関連する酸化膜（図 5 (B)）や空孔（図 7 (B)）に網点模様を付して示してある。

【 0 0 1 2 】 1. 第 1 の実施の形態

先ず、下地として、基板表面に平行な一方向に凹凸構造

10

20

30

40

50

が繰り返されている GaAs 基板を用い、かつ、屈折率が異なる 2 種類の薄膜として、GaAs 薄膜および AlAs 薄膜を用いて、屈折率二次元周期構造を作製する例を説明する。図 1 および図 2 はその説明に供する工程図であって、製造工程中の主な工程での試料の様子をそれぞれ斜視図により示した工程図である。なお GaAs および AlAs を用いるこの例の場合、GaAs の屈折率が約 3.5 であり、AlAs の屈折率が約 2.9 であるので、GaAs 薄膜が高屈折率薄膜、AlAs 薄膜が低屈折率薄膜にそれぞれ当たる。

【0013】はじめに、GaAs 基板の表面に、リッジ状の凸部 11a がその幅方向（図 1（A）中 Y で示す方向）に沿って周期 P で並置形成されるように、該 GaAs 基板表面を通常のフォトリソグラフィ技術とエッチング技術とを用いて加工する。この加工の済んだ GaAs 基板 11 は、該基板表面に平行な一方向（図 1（A）中の Y 方向）に沿って凸部 11a および凹部 11b が繰り返された周期構造（一次元周期構造）11x を表面に有した GaAs 基板 11 すなわちこの発明でいう下地 11 になる（図 1（A））。ここで、凸部 11a の幅 W1、凹部 11b の幅 W2、凹凸における段差 H の各値は、屈折率周期構造をどのような構造のものにするかに応じ、任意の値にできる。具体的には W1 および W2 は、周期構造 11x における周期 P（図 1（A）参照）をどのような周期にするかに応じ決めることが出来、H は、GaAs 基板 11 の表面に対し垂直な方向に後に形成される周期構造の周期 Pz（図 1（B）参照）をどのような周期とするかに応じ決めることが出来る。例えば W1 = W2 = H とすれば、GaAs 基板 11 の表面に平行な方向での屈折率周期構造と、GaAs 基板 11 の表面に垂直な方向での屈折率周期構造とが同じ周期となった屈折率二次元周期構造の作製が可能になる。また、凸部 11a の側壁（凹部 11b の側壁）はできるだけ GaAs 基板表面に対し垂直になるようにするのが良い。そうした方が、凹凸構造が、下地 11 上に薄膜を形成した後でも良好に保存され易いからである。

【0014】このように凹凸構造を表面に有した GaAs 基板 11 上に、第 1 の薄膜としての AlAs 薄膜 13 と、第 2 の薄膜としての GaAs 薄膜 15 とを交互にかつそれぞれの膜厚が前記凹凸における段差 H と等しいか

実質的に等しい膜厚となるように積層する（図 1（B）、（図 2（A））。これら薄膜 13、15 の積層数は、希望する厚さの屈折率周期構造が作製できる数とする。これら薄膜 13、15 の成膜方法は、下地 11 の凹凸構造 11x を転写し易い成膜方法が好ましい。例えば分子線成長法（MBE 法）は好ましい成膜方法の一つとして挙げられる。

【0015】各薄膜 13、15 の形成工程において AlAs 薄膜 13 および GaAs 薄膜 15 それぞれは、凹部 11b 上の成長部分と凸部 11a 上の成長部分とが凹凸

の段差 H 分ずれた状態で成長する。そのため交互積層が済んだ試料では、GaAs 基板 11 表面に平行でかつ凹凸に沿う方向においても、基板 11 表面に垂直な方向においても、GaAs 薄膜と AlAs 薄膜とが交互にかつ周期的に存在する構造が作製されるので、屈折率二次元周期構造 17 が作製できる（図 2（B））。

【0016】2. 第 2 の実施の形態

次に、下地として、基板表面に平行な二方向に凹凸構造が繰り返されている GaAs 基板を用い、かつ、屈折率が異なる 2 種類の薄膜として、GaAs 薄膜および AlAs 薄膜を用いて、屈折率三次元周期構造を作製する例を説明する。図 3 および図 4 はその説明に供する工程図であって、製造工程中の主な工程での試料の様子をそれぞれ斜視図により示した工程図である。なお、ここでいう基板表面に平行な二方向とは、互いが 180° 反対向きである場合は除く方向である。ここでは上記二方向が互いに直交する 2 方向（図 3（A）中に X、Y で示す各方向）である例を説明する。

【0017】はじめに、GaAs 基板の表面に、凸部 21a および凹部 21b が基板表面に平行な二方向それぞれで交互に生じるように、該 GaAs 基板表面を通常のフォトリソグラフィ技術とエッチング技術とを用いて加工する。具体的には、開口部の平面形状が正方形または長方形となっていてかつ深さ（段差）が H である凹部 21b が GaAs 基板に多数形成されるように、しかも、それぞれの凹部 21b が千鳥状にかつその四隅には別の凹部 21b の隅が接する配列となるように、GaAs 基板を加工する。この加工の済んだ GaAs 基板 21 は、該基板表面に平行な二方向それぞれに沿って凸部 21a および凹部 21b が繰り返された周期構造（二次元周期構造）21x を表面に有した GaAs 基板 21 すなわちこの発明でいう下地 21 になる（図 3（A））。またここでは、凸部 21a の頂面の大きさおよび形状と、凹部 21b の開口部の大きさ及び形状とを、同じとしてある。すなわち凸部 21a の頂面における X 方向の寸法と、凹部 21b の開口部における X 方向の寸法とを、いずれも Wx とし、凸部 21a の頂面における Y 方向の寸法と、凹部 21b の開口部における Y 方向の寸法とを、いずれも Wy としてある。またこれら Wx、Wy、H の各値は、屈折率周期構造をどのような構造のものにするかに応じ、任意の値にできる。具体的には Wx および Wy は、周期構造 21x における X 方向の周期 Px および Py（図 3（A）参照）をそれぞれどのような周期とするかに応じ決めることが出来、H は、GaAs 基板 11 の表面に対し垂直な方向に後に形成される周期構造の周期 Pz（図 3（B）参照）をどのような周期とするかに応じ決めることが出来る。例えば Wx = Wy = H とすれば、GaAs 基板 11 の表面に平行な二方向それぞれでの屈折率周期構造すなわち X 方向の屈折率周期構造と、Y 方向の屈折率周期構造と、GaAs 基板 11 の表面に

垂直な方向での屈折率周期構造と同じ周期となった屈折率三次元周期構造の作製が可能になる。また、凸部21aの側壁(凹部211bの側壁)はできるだけGaAs基板表面に対し垂直になるようにするのが良い。そうした方が凹凸構造が、下地21上に薄膜を形成した後でも良好に保存され易いからである。

【0018】このように凹凸構造を表面に有したGaAs基板21上に、AlAs薄膜13と、GaAs薄膜15とを交互にかつそれぞれの膜厚が段差Hと等しいか実質的に等しい膜厚となるように積層する(図3(B)、図4(A))。これら薄膜13、15の積層数は、希望する厚さの屈折率周期構造が作製できる数とする。これら薄膜13、15の成膜方法は、下地21の凹凸構造21xを転写し易い成膜方法が好ましい。例えば分子線成長法(MBE法)は好ましい成膜方法の1つとして挙げられる。

【0019】各薄膜13、15の形成工程においてAlAs薄膜13およびGaAs薄膜15それぞれは、凹部21b内の成長部分と凸部21a上の成長とが凹凸の段差分ずれた状態で、成長する。そのため交互積層が済んだ試料では、GaAs基板21表面に平行な二方向(X、Y方向)それぞれに沿う方向においても、基板21表面に垂直な方向においても、GaAs薄膜とAlAs薄膜とが交互にかつ周期的に存在する構造が作製されるので、屈折率三次元周期構造23が作製できる(図4(B))。

【0020】3. 第3の実施の形態

次に、周期的な凹凸構造を表面に有した下地上に、後処理により互いに異なる屈折率となるような2種類の薄膜を交互に所定の膜厚で積層し、そして当該後処理をする発明について説明する。ただし、ここでは、この技術思想を第1の実施の形態で説明した方法にさらに適用する例を説明する。上述の第1の実施の形態では所定のGaAs下地11上に、AlAs薄膜13およびGaAs薄膜15を交互に積層して所望の屈折率多次元周期構造を作製する例を説明した。この場合はGaAsの屈折率が約3.5、AlAsの屈折率が約2.9であるので、屈折率差が約0.6となっている屈折率多次元周期構造が得られる。しかし、さらに大きな屈折率差を有した屈折率多次元周期構造が作製できれば、そのような用途の屈折率多次元周期構造を容易に作製できるので好ましい。そこで、この第3の実施の形態では以下の様な手順をとる。この説明を図5を主に参照して説明する。

【0021】まず第1の実施の形態において説明した手順により屈折率二次元周期構造17を作成する(図5(A))。次に、屈折率二次元周期構造17中のAlAs各層の一部が外部にそれぞれ露出されるように適正な加工をこの屈折率二次元周期構造に対し実施する。この加工は例えば劈開により行なえる。もちろん、AlAs各層の一部が外部に既に露出されている場合は、この加

工は無用である。

【0022】次に、この試料を酸化促進雰囲気例えば水蒸気雰囲気であつ高温(例えば400℃程度の温度)の雰囲気の中に数時間入れる。この処理では、それぞれのGaAs薄膜15は変化しないが各AlAs薄膜13は酸化されて屈折率が1.5程度の酸化膜13xに変わる(図5(B))。そのため、GaAs(基板11およびGaAs薄膜15双方)と酸化膜13xとで構成される屈折率二次元周期構造17xが作製できる。この構造の場合は、GaAsの屈折率が約3.5、酸化膜13xの屈折率が約1.5であるので、屈折率差が約2.0となっている屈折率二次元周期構造になり、第1の実施の形態の場合より屈折率差が大きい屈折率二次元周期構造が得られる。なお、上記の熱酸化プロセスの詳細については、例えば文献IV(Applied Physics Letters(77'ライト'フィジックス レターズ'), 1990, Vol. 57, pp. 2844~2846)に開示されている。

【0023】なお、上述の説明では、屈折率二次元周期構造に対し酸化処理をする例を説明したが、例えば図4(B)に示した屈折率三次元周期構造に対して酸化処理をしてAlAs薄膜13を酸化膜に変えることも可能と考える。ただしその場合は、図6に示したように、被酸化膜であるAlAs薄膜13の膜厚Dを意図的に凹凸における段差Hよりも僅かに厚くしてAlAs薄膜13が二次元的に繋がった状態にしておく。ただし、AlAs薄膜における段差Hより厚くなっている部分の膜厚tは、光学的に無視出来る程度の膜厚である必要がある。たとえば、段差Hが0.5μmであるとしたなら、膜厚tは厚くとも数百Å程度と考える。したがって、AlAs薄膜の膜厚Dは厚くとも0.5μm+数百Å程度の膜厚にすれば良いと考える。こうしておけば、屈折率三次元周期構造の場合でも後の酸化処理によりAlAs薄膜13の酸化が可能と考える。

【0024】また、この第3の実施の形態においては、第一の薄膜および第二の薄膜それぞれが最初から屈折率が異なったものである例を説明したが、後処理を行なう前まで第一及び第二の薄膜の屈折率が同じであり後処理で少なくとも一方の薄膜の屈折率が変化するような構成も、この発明は含む。

【0025】4. 第4の実施の形態

次に、周期的な凹凸構造が表面に形成されている下地上に、後に行なうエッチング方法によってエッチングされる第1の薄膜と該エッチング方法によってはエッチングされないか実質的にエッチングされない第2の薄膜とを、交互にかつ所定の膜厚となるように積層し、そしてこの試料に対し当該エッチングを行なう発明について説明する。この説明を図7を主に参照して説明する。

【0026】まず第1の実施の形態において説明した手順により屈折率二次元周期構造17を作成する(図7(A))。次に、屈折率二次元周期構造17中のAlA

s 各層の一部が外部にそれぞれ露出されるように適正な加工をこの屈折率二次元周期構造に対し実施する。この加工は例えば劈開により行なえる。もちろん、A l A s 各層の一部が外部に既に露出されている場合は、この加工は無用である。

【 0 0 2 7 】次に、この試料を、A l A s を溶解するが G a A s は溶解しない（実質的に溶解しない場合も含む）エッチング方法によりエッチングする。これは例えばふっ酸中に試料を浸漬することで行なえる。この処理では、各 A l A s 薄膜 1 3 はその露出部から除去されてゆくので、試料の A l A s 薄膜が存在していた部分は最終的には空孔 3 1 になる（図 7（B））。そのため、G a A s（基板 1 1 および G a A s 薄膜 1 5 双方）と空孔 3 1 とで構成される屈折率二次元周期構造 1 7 y が作製できる。この構造の場合は、G a A s の屈折率が約 3.5、空孔の屈折率が約 1 であるので、屈折率差が約 2.5 となっている屈折率二次元周期構造が得られる。この第 4 の実施の形態では、第 1 の実施の形態、第 3 の実施に形態いずれの場合より屈折率差が大きい屈折率二次元周期構造が得られる。

【 0 0 2 8 】上述においてはこの発明のいくつかの実施の形態について説明した。しかしこの発明は上述の実施の形態に限られない。

【 0 0 2 9 】例えば上述の第 1、第 2 の実施の形態それぞれでは下地を G a A s 基板とし、屈折率が異なる 2 種類の薄膜を A l A s 薄膜および G a A s 薄膜とした例を説明した。また、第 3 の実施の形態では下地を G a A s 基板とし、後処理により少なくとも一方の屈折率が変化する 2 種類の薄膜を A l A s 薄膜および G a A s 薄膜とした例を説明した。また、第 4 の実施の形態では、下地を G a A s 基板とし、後のエッチング方法によりエッチングされる薄膜およびされない薄膜を A l A s 薄膜および G a A s 薄膜とした例を説明した。しかし、これら材料はこの発明の目的を達成し得る他の好適な材料に置換出来る。例えば、第 1 の実施の形態において屈折率が異なる 2 種類の薄膜を A l A s 薄膜および A l G a A s 薄膜としたり、組成が異なる 2 種類の A l G a A s 薄膜とした場合も第 1 の実施の形態と同様な効果が得られる。また、第 3 の実施の形態の場合も、2 種類の薄膜を A l A s 薄膜および A l G a A s 薄膜としたり、組成が異なる 2 種類の A l G a A s 薄膜としても良いと考える。その場合は、両者が酸化されることになるがその程度が違うので屈折率周期構造が確保されると考える。

【 0 0 3 0 】また、上述の実施の形態であって屈折率三次元周期構造を作製する例においては、基板表面に平行

な二方向が互いに直交する 2 方向（図 3（A）中に X、Y で示す各方向）である例を説明した。しかし、該二方向は直交する方向でなくとも良く、互いが鋭角をなす方向や鈍角をなす方向でも良い。その場合は、凸部 2 1 a、凹部 2 1 b の平面形状を平行四辺形状にする等の手をすれば良い。

【 0 0 3 1 】

【発明の効果】上述した説明から明らかなように、この発明の屈折率多次元周期構造の作製方法によれば、周期的な凹凸構造を表面に有した下地を用意し、該下地の前記表面上に、屈折率が異なる 2 種類の薄膜等の所定の薄膜を、交互にかつそれぞれの膜厚が前記凹凸における段差と等しいか実質的に等しい膜厚となるように積層する。この方法の場合、凹凸構造を有した下地を形成する際にドライエッチングを使用する場合もあり得るがそのエッチング深さは浅くて済む。また、その後は、2 種類の薄膜を交互に所定の膜厚で積層するのみで良い。したがって、所望の厚さを有した屈折率多次元周期構造を簡易に作製でき、然も、光素子作製用の代表的な材料である化合物半導体材料を用いる場合も所望の屈折率多次元周期構造を簡易に作製できる。また、従来より高い信頼性および高い再現性で屈折率多次元周期構造を作製出来る。

【図面の簡単な説明】

【図 1】第 1 の実施の形態の説明図（その 1）である。

【図 2】第 1 の実施の形態の説明図（その 2）である。

【図 3】第 2 の実施の形態の説明図（その 1）である。

【図 4】第 2 の実施の形態の説明図（その 2）である。

【図 5】第 3 の実施の形態の説明図である。

【図 6】第 3 の実施の形態の他の例の説明図である。

【図 7】第 4 の実施の形態の説明図である。

【符号の説明】

1 1 : 一次元周期構造を有した下地（G a A s 基板）

1 1 a : 凸部（リッジ状の凸部）

1 1 b : 凹部

1 3 : 第 1 の薄膜（A l A s 薄膜）

1 3 x : 酸化膜（A l A s を酸化した膜）

1 5 : 第 2 の薄膜（G a A s 薄膜）

1 7, 1 7 x, 1 7 y : 屈折率二次元周期構造

2 1 : 二次元周期構造を有した下地

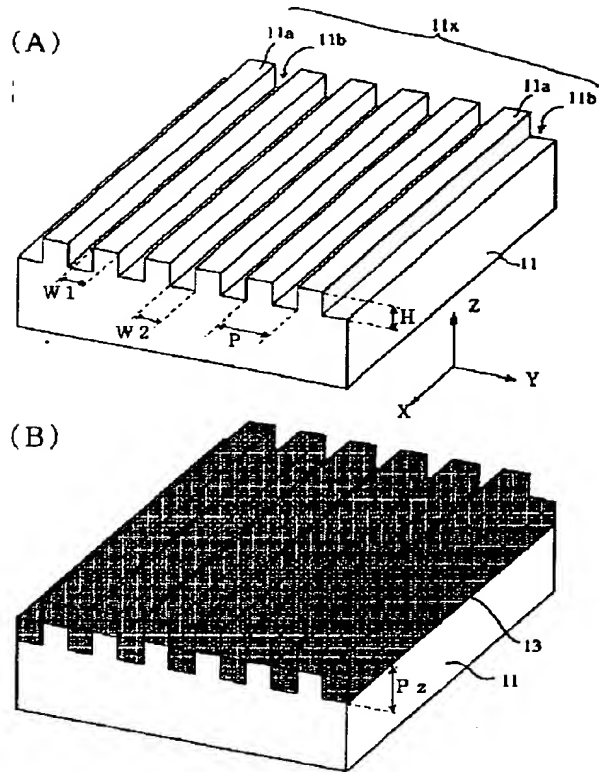
2 1 a : 凸部（例えば立方形状の凸部）

2 1 b : 凹部（例えば立方形状の凹部）

2 3 : 屈折率三次元周期構造

3 1 : 空孔

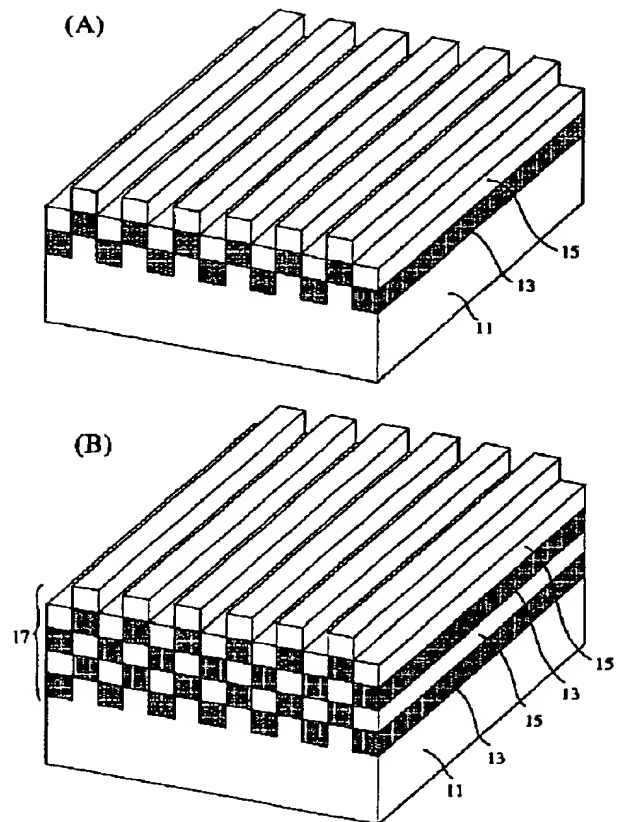
【 図 1 】



11:一次元周期構造を有した下地 (GaAs基板)
 11a:凸部 (リッジ状の凸部)
 11b:凹部
 11x:周期構造 (一次元周期構造)
 13:第1の薄膜 (AlAs薄膜)

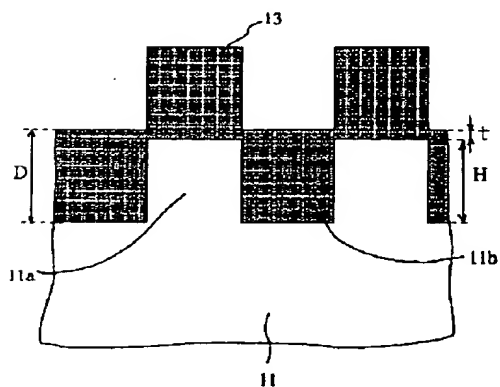
第1の実施の形態の説明図 (その1)

【 図 2 】



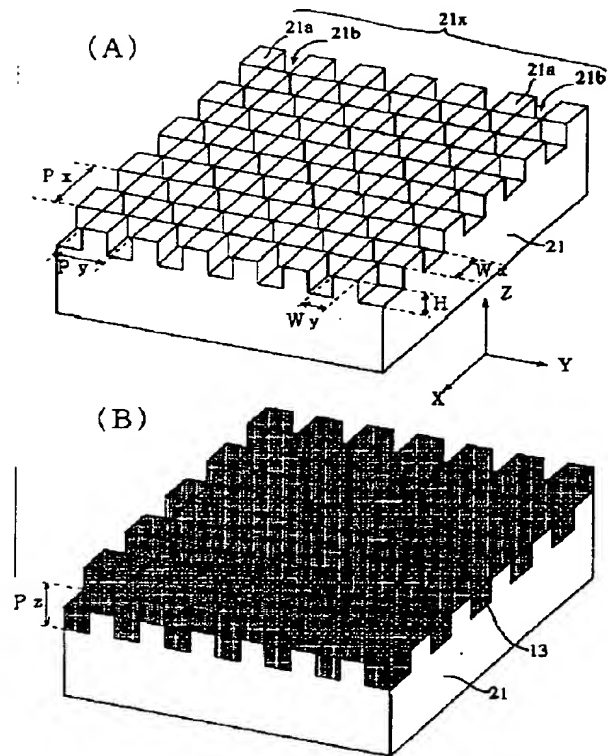
15:第2の薄膜 (GaAs薄膜)
 17:屈折率二次元周期構造
 第1の実施の形態の説明図 (その2)

【 図 6 】



第3の実施の形態の他の例の説明図

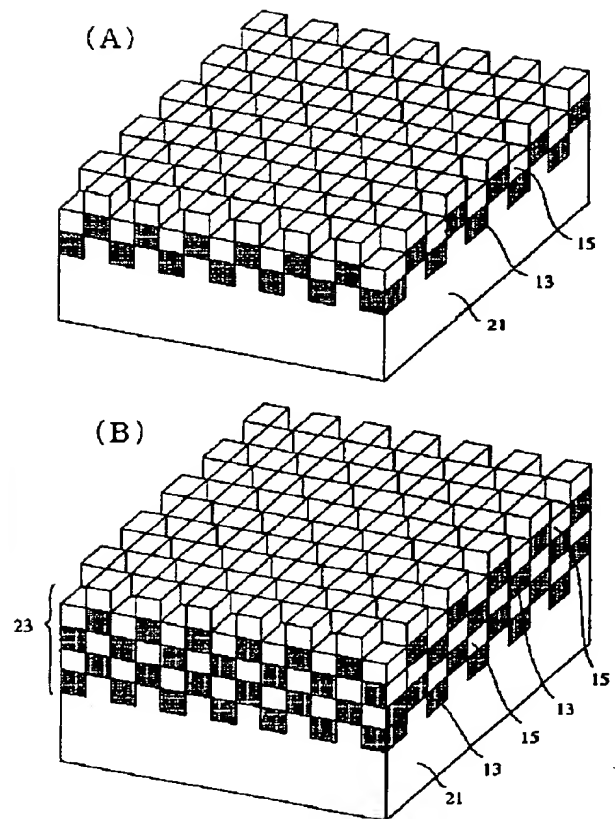
【図 3】



21:二次元周期構造を有した下地
 21a:凸部 (例えば立方形状の凸部)
 21b:凹部 (例えば立方形状の凹部)

第2の実施の形態の説明図 (その1)

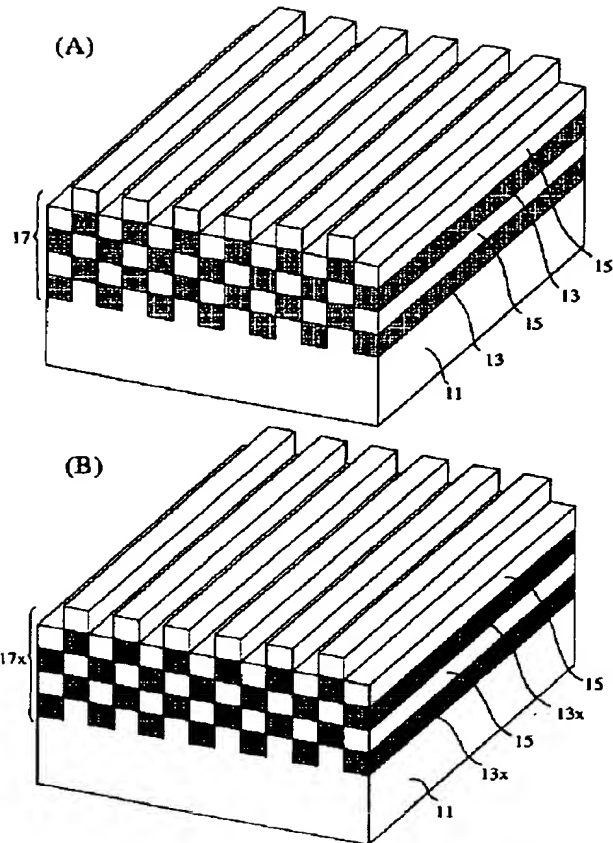
【図 4】



23:屈折率三次元周期構造

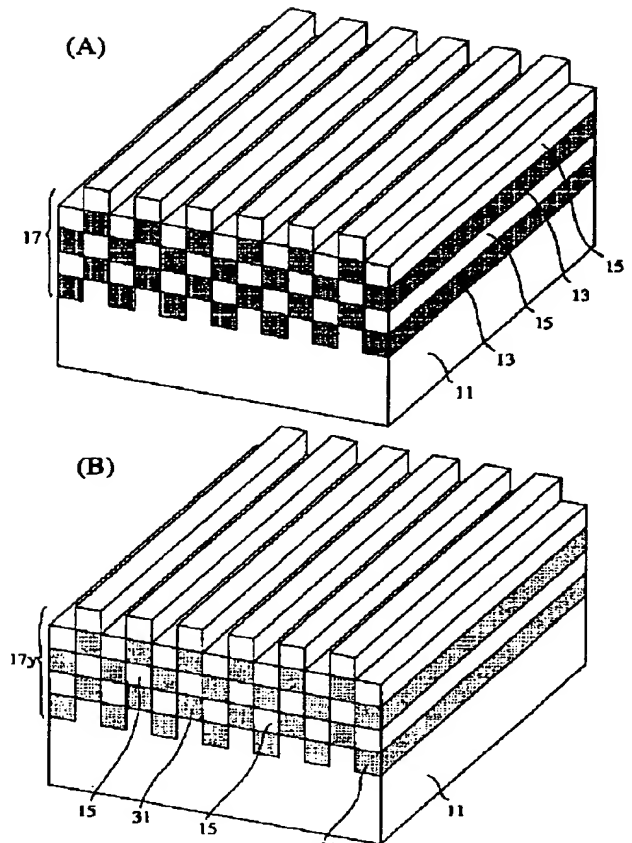
第2の実施の形態の説明図 (その2)

【 図 5 】



13x:酸化膜 (AlAsを酸化した膜) 17x:屈折率二次元周期構造
第3の実施の形態の説明図

【 図 7 】



31:空孔
17y:屈折率二次元周期構造
第4の実施の形態の説明図

フロントページの続き

(72) 発明者 和田 浩
東京都港区虎ノ門 1 丁目 7 番 1 2 号 沖電
気工業株式会社内

(72) 発明者 上條 健
東京都港区虎ノ門 1 丁目 7 番 1 2 号 沖電
気工業株式会社内